

Тим Макдональд (International Rectifier)

ПРЕИМУЩЕСТВА СИЛОВЫХ ПРИБОРОВ НА БАЗЕ GaN ОТ INTERNATIONAL RECTIFIER



Размер готового решения можно уменьшить в два раза благодаря сокращению количества пассивных компонентов и использованию меньших индуктивностей. Стремясь к инновациям, сотрудники **International Rectifier** разработали принципиально новую технологию производства **силовых приборов** на основе **нитрида галлия (GaN)**, комплексный показатель качества (FOM) которых в несколько раз превосходит современные кремниевые MOSFET. Рентабельные устройства на основе GaN помогут создавать готовые решения, которые сделают прорыв в увеличении КПД силовых устройств. О новой технологии и изделиях на ее базе рассказывает вице-президент Emerging Technologies Group компании IR.

Перед появлением MOSFET биполярные транзисторы играли доминирующую роль в силовой электронике. Однако запуск в серийное производство первых кремниевых MOSFET (включая NEXFET от International Rectifier) около 30 лет назад привел к появлению нового направления. Применение силовых MOSFET способствовало быстрому развитию импульсных ИП, которые стали меньше, легче и эффективнее. С тех пор MOSFET стали использовать в качестве силовых приборов для многих применений. В течение прошедших десятилетий МОП-транзисторы продолжали совершенствоваться. Пройдя путь от планарных HEXFET до TrenchFET и superjunction FET, кремниевые MOSFET сделали большой качественный шаг вперед (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, к настоящему моменту времени транзисторы на основе кремниевой технологии производства почти достигли предела своего развития. Последующее совершенствование кремниевых MOSFET потребует гораздо больших затрат при меньшем извлечении прибыли.

Чтобы удовлетворить возрастающие потребности рынка в силовых MOSFET, компания International Rectifier разработала GaNpowIR™ — принципиально новую технологию производства силовых приборов на основе нитрида галлия. Ее использование позволяет более чем в 10 раз увеличить комплексный показатель качества (FOM) по сравнению с современной кремниевой технологией и значительно расширить границы

их применения. Подобно тому, как 30 лет назад кремниевые MOSFET совершили технологический скачок, появление нового запатентованного компанией International Rectifier эпитаксиального процесса GaN-on-Si и основанной на нем технологии изготовления приборов знаменует новую эру для высокочастотных силовых устройств с большой степенью интеграции и конкурентной ценой.

Технология GaNpowIR: серийный выпуск платформы.

Для использования GaN в силовых полупроводниковых приборах требуется правильно выбрать материал подложки. Применение GaN, SiC и сапфировых

подложек имеет ряд больших недостатков, одним из которых является их высокая стоимость. Несмотря на то, что кремний — это очень доступный и дешевый материал, его использование долгое время оставалось затруднительным из-за дефектообразования и наличия сил поверхностного натяжения. Из-за несоответствия параметров кристаллических решеток и ТКР между материалом подложки и эпитаксиальной пленкой разработка надежного и качественного гетеро-эпитаксиального процесса GaN-on-Si оказалась очень сложным делом. Для успешного решения этих проблем были приложены значительные инженерные усилия специалистов IR. В результате была получена эпитаксиальная пленка с низким содержанием дефектов, высокой степенью однородности и эксплуатационной надежности. Платформа GaNpowIR компании IR представляет собой слой арсенида галлия, нанесенный на дешевые кремниевые подложки диаметром 150 мм.

Затраты на изготовление подложки являются еще одним препятствием для внедрения GaN в серийное производство. Предыдущие попытки, связанные с напылением золота или автоматизации

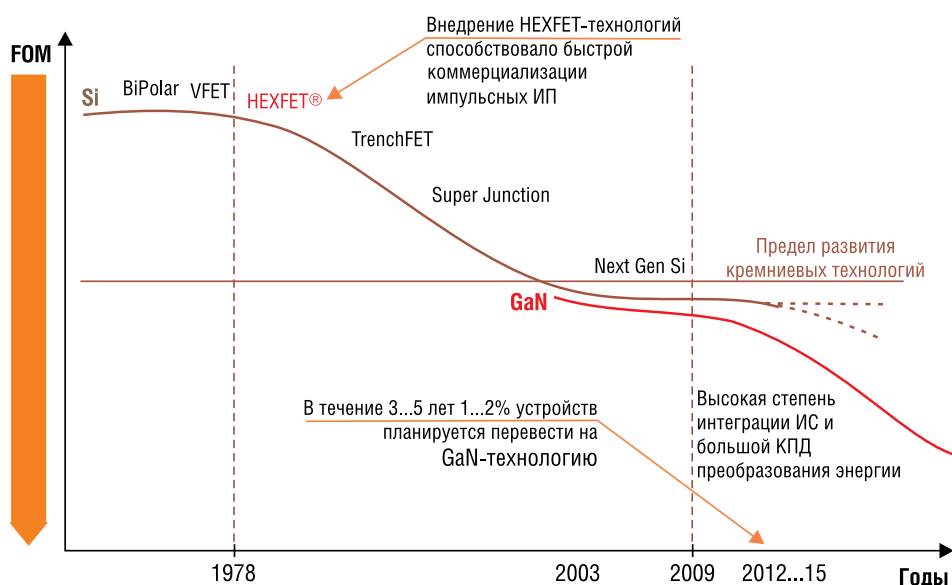


Рис. 1. Этапы развития кремниевых технологий

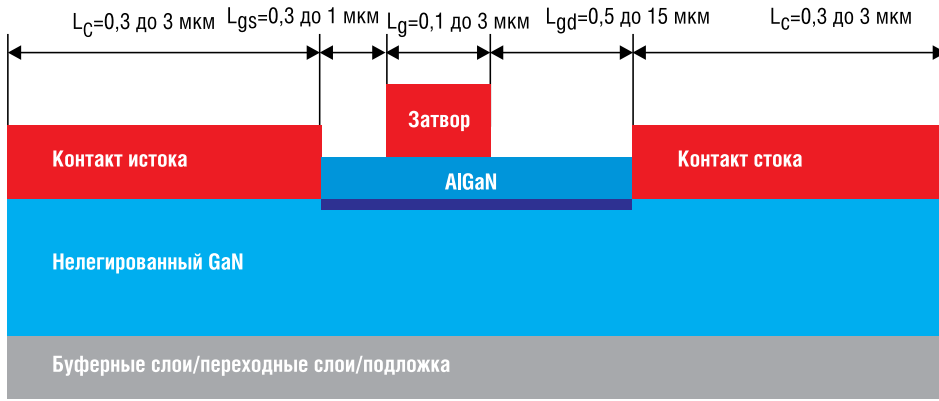


Рис. 2. Поперечное сечение HEMT-транзистора на основе GaN на Si

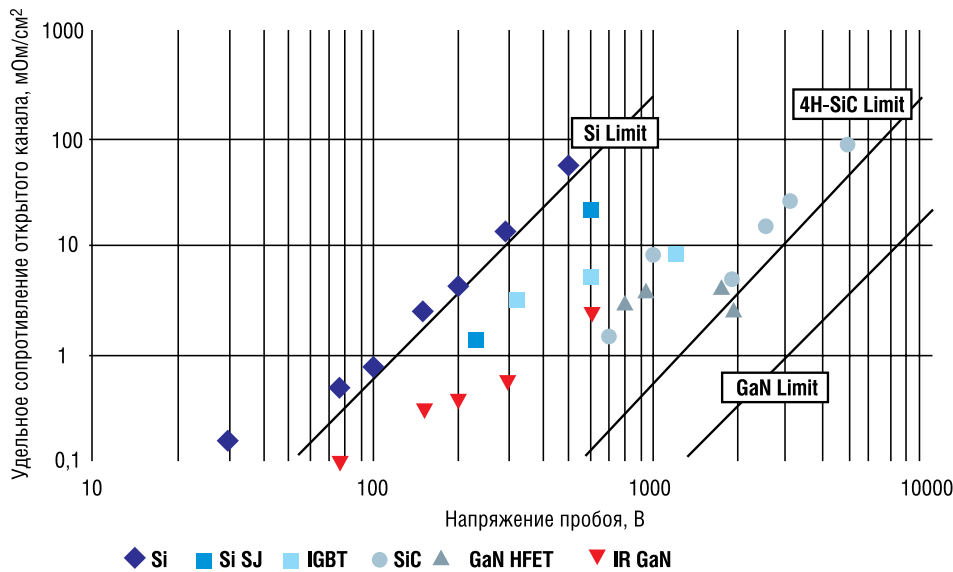


Рис. 3. Предельные характеристики структур на Si, SiC и GaN

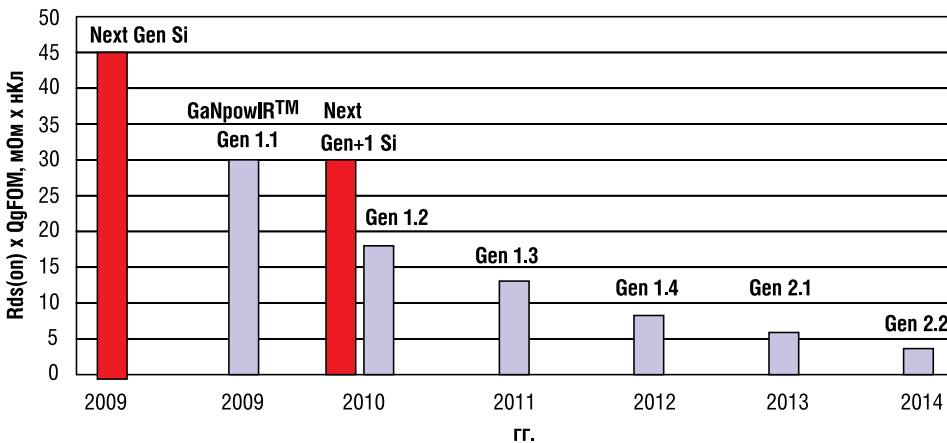


Рис. 4. Прогнозируемое уменьшение величины $R_{ds(on)} \times Q_g$ в течение последующих 5 лет

ей технологического процесса, не привели к успеху. Платформа GaNpowIR специально разработана так, чтобы можно было использовать стандартную КМОП-технологии производства. Для максимального снижения затрат технологический процесс должен быть полностью настроен на серийное производство. Помимо получения лучшего со-

отношения цена/качество при серийном производстве, платформа GaNpowIR полностью отвечает всем отраслевым требованиям стандартов качества и эксплуатационной надежности. Было проведено и проводится огромное количество испытаний на надежность для выявления недостатков и характера нарушения работы устройств на арсениде

галлия. Наряду с традиционным тестированием качества продукта проведенные испытания доказывают, что приборы GaNpowIR от International Rectifier будут исправно работать в течение всего предусмотренного срока службы.

Выпуск новой продукции был запланирован на конец 2009 года. Первым выпущенным продуктом стал силовой модуль (IP2010 и IP2011) для понижающих синхронных DC/DC-преобразователей, который включает в себя 30 В транзисторы на арсениде галлия и рассчитан на напряжение на входе 12 В и выходное напряжение 1 В или ниже. Приборы, работающие с более высокими напряжениями, будут выпущены в 2010 году и позже.

Как показано на рис. 2, основой структуры прибора GaN-on-Si является транзистор с высокой подвижностью электронов (HEMT), у которого между тонким слоем AlGaN и слоем GaN формируется область двумерного электронного газа. Так как эта структура – полевой транзистор с гетеропереходом (HFET) и сформированным каналом электронов с высокой подвижностью, который находится в открытом состоянии при нулевом смещении затвора, транзисторы на арсениде галлия работают в режиме обеднения.

Преимущества GaN-on-Si

Сочетание высокой плотности электронов проводимости, их высокой подвижности и большой ширины запрещенной зоны позволяет арсенид-галлиевым транзисторам значительно снизить сопротивление открытого канала. Из рисунка 3, где показаны предельные характеристики для Si, SiC и GaN структур, видно, что величина сопротивления открытого канала для арсенида галлия на порядок меньше, чем для кремния и карбида кремния. После 30 лет разработок кремниевые MOSFET уже почти достигли предела своих возможностей, за исключением Superjunction FET или IGBT, которые пока находят компромисс между своими динамическими характеристиками и сложностью процесса изготовления (затратами). Недавно в литературе были опубликованы характеристики полевых транзисторов на базе SiC. По сравнению с кремниевыми транзисторами сопротивление открытого канала оказалось меньше, и виден потенциал для дальнейшего улучшения их характеристик. Параметры полевых транзисторов на арсениде галлия аналогичным образом превосходят кремниевые транзисторы, и имеется солидный запас для их улучшения в будущем, прежде чем они достигнут своего предела. Если затраты на их производство снизятся, то станет приемлемым соотношение качество/цена, что ознаменует их победу над кремниевыми MOSFET.

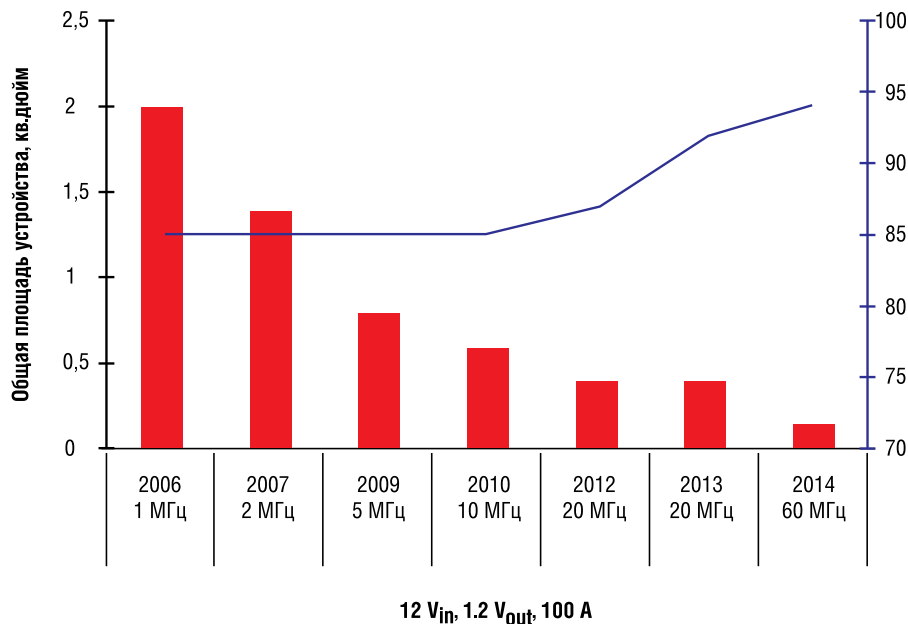


Рис. 5. Изменение размеров, КПД и частоты 100 А, 12:1,2 В DC/DC-преобразователя

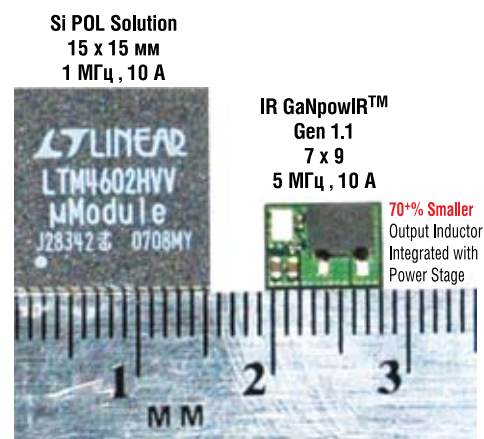


Рис. 6. Сравнение размеров Si и нового понижающего преобразователя на базе платформы GaNpowIR

Именно для этого и была разработана платформа GaNpowIR от IR. Параметры приборов могут быть подобраны в зависимости от их применения в каждом конкретном устройстве.

Оценка преимуществ

Ценность простого силового модуля может быть определена как КПД·размеры/стоимость. Необходимо найти компромисс между этими тремя величинами. В любом случае, эта формула является лучшим показателем для правильного выбора силового устройства. Новые приборы на основе платформы GaNpowIR показали существенное улучшение показателя $R_{ds(on)} \cdot Q_g$ и лишь совсем незначительное увеличение стоимости, что привело к прекрасному соотношению этих трех величин. Рассмотрим это более подробно.

Как уже упоминалось, в силовых приборах на основе GaN удалось достичь значительного снижения величины заряда затвора, Q_g . Показатель $R_{ds(on)} \cdot Q_g$ гораздо меньше по сравнению с кремниевыми приборами. Рисунок 4 наглядно показывает это, а также прогнозируемое постоянное улучшение упомянутого показателя для низковольтных (30 В) силовых приборов на основе GaN. Первое поколение HEMT на базе GaN-on-Si уже демонстрирует улучшение $R_{ds(on)} \cdot Q_g$ на 33% по сравнению с кремниевыми MOSFET самого последнего поколения. К 2014 году ожидаемое значение этого показателя составит менее 5 мОм·нКл, что будет на порядок лучше, чем у кремниевых MOSFET.

Каким образом это отразится на размерах устройства для конкретного применения? Рисунок 5 иллюстрирует влияние изменений, изображенных на рисунке 4, на общие размеры

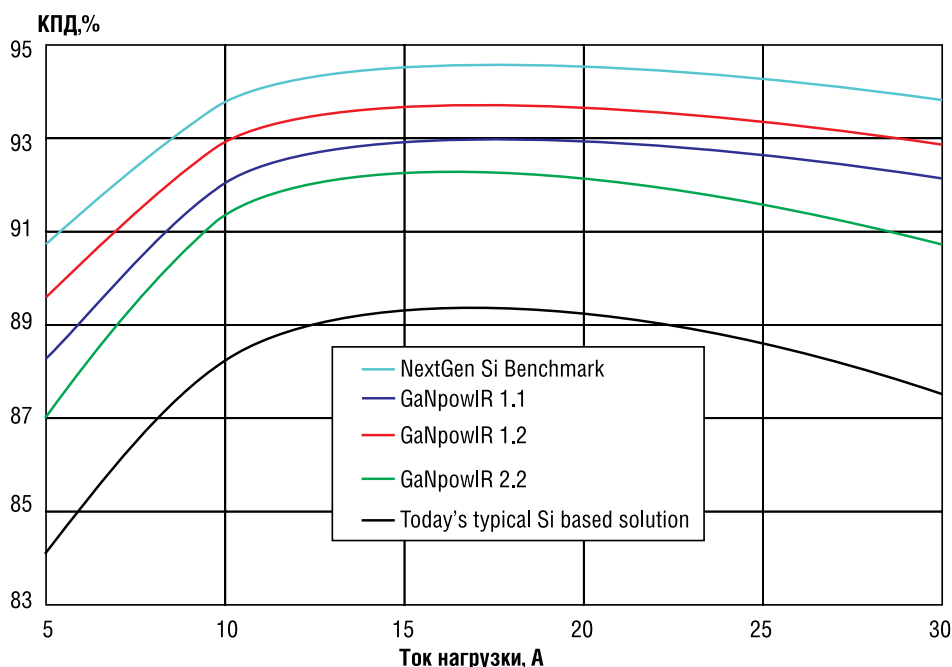


Рис. 7. Зависимость КПД от тока нагрузки для преобразователей на базе GaN и Si

и КПД многофазного 100 А, 12:1,2 В DC/DC-преобразователя. В 2007 году самое лучшее на тот момент решение на кремнии имело размер 3,5 см² при КПД 85%. Возможности силового модуля GaNpowIR позволили поднять частоту до 5 МГц, при этом сохранив значение КПД на том же уровне. Это значит, что размер готового изделия можно уменьшить в два раза благодаря сокращению количества пассивных компонентов и использованию меньших индуктивностей из-за увеличения рабочей частоты. К 2011 году дальнейшая модернизация GaN технологии позволит еще более сократить размеры без потерь в КПД. Начиная с 2012 года удастся повысить частоту настолько, что станет возможным

максимально приблизить устройство к нагрузке, и к 2014 году, например, можно будет упаковать микропроцессор и понижающий преобразователь в один корпус. Близкое расположение преобразователя и нагрузки позволит значительно уменьшить паразитные потери всей системы. В результате совершенствования платформы GaNpowIR прогнозируется уменьшить размер готового решения почти в 10 раз.

International Rectifier разработала и продемонстрировала прототип 5 МГц POL DC/DC-преобразователя на базе силового модуля на GaN (IP2010 и IP2011). Этот преобразователь имеет входное напряжение 12 В и выходное 1,8 В (типичные значения) при токе

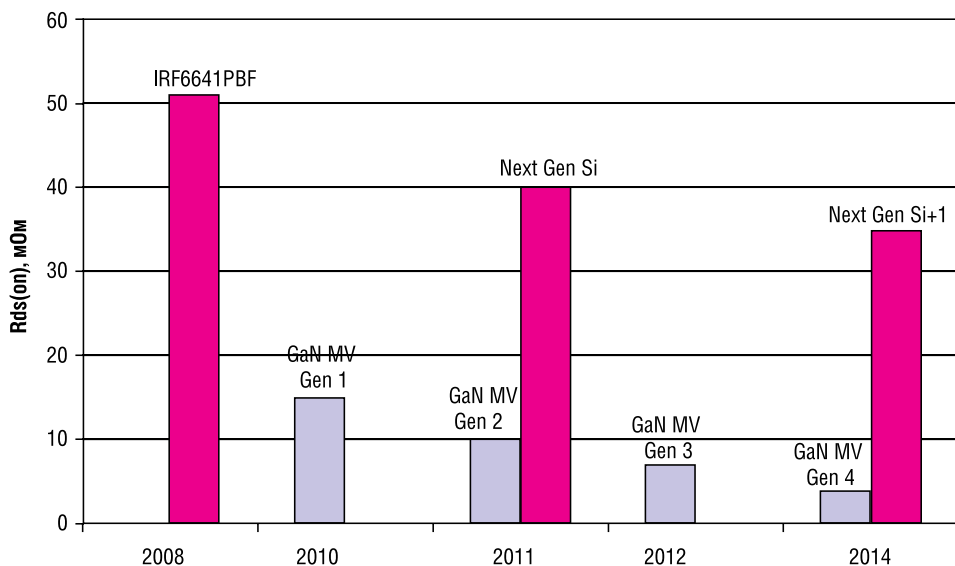


Рис. 8. Прогноз значений Rds(on) для 200 В транзисторов в корпусах 5x6 мм

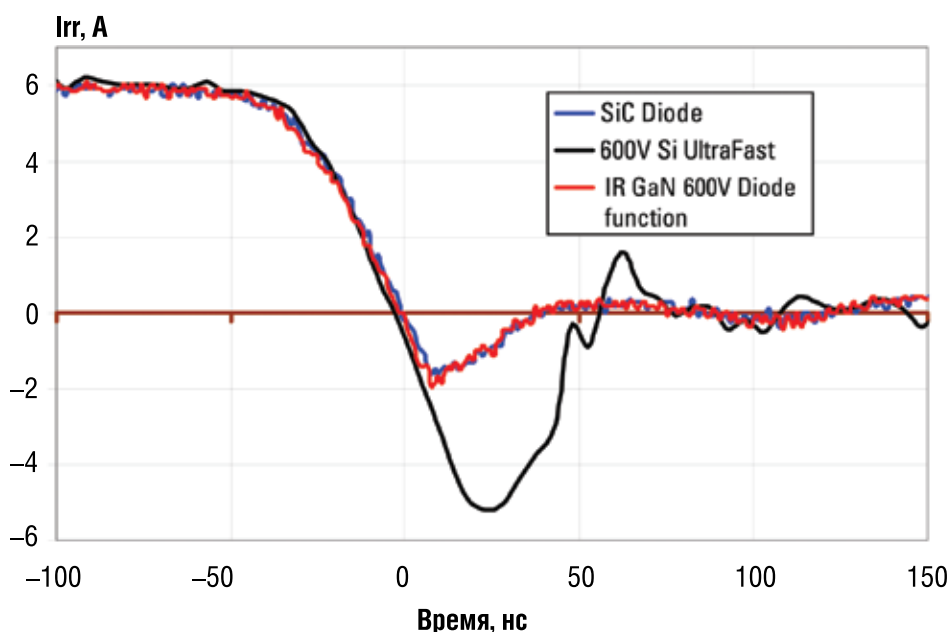


Рис. 9. Режим обратного восстановления для SiC- и GaN-диодов

нагрузки 10 А. При работе на частоте 5 МГц его КПД превышает значения современных устройств и имеет более чем в три раза меньший размер. Занимая площадку размером 7x9 мм, этот многофункциональный 5 МГц модуль на основе GaN при токе нагрузки 10 А демонстрирует 85% КПД.

Как было отмечено выше, с помощью платформы GaNrowIR можно получить высокие значения КПД преобразования. Рисунок 7 иллюстрирует улучшение КПД понижающих преобразователей на базе GaN по сравнению с существующими на сегодняшний день решениями на обычном кремнии. Для однофазного понижающего преобразователя уменьшение величины $R_{ds(on)} \cdot Q_g$ для


GaNrowIR (рисунок 4) уже в 2009 году привело к увеличению его максимального КПД более чем на 3%. Согласно прогнозам, GaNrowIR достигнет КПД 94,5% в течение ближайших пяти лет, превзойдя на 5% современные решения. Пример использования платформы GaNrowIR компанией Enterprise Power показал, что можно существенно снизить стоимость эксплуатации системы (благодаря меньшему энергопотреблению и охлаждению) и значительно уменьшить габариты конечного изделия.

Платформа GaNrowIR также будет эффективна при работе с более высокими напряжениями. Практические и теоретические результаты для 200 В GaN устройств в корпусе 5x6 мм показыва-

ют уменьшение $R_{ds(on)}$ в три раза по сравнению с кремниевыми аналогами, а дальнейшее улучшение GaN-технологии в ближайшие 5 лет позволит получить значения, лучшие на целый порядок. Из рисунка 8 видно, что этих результатов планируется достигнуть к 2014 году. Сопротивление открытого канала для 200 В транзисторов на арсениде галлия в корпусе размером 5x6 мм будет менее 5 мОм; для сравнения – величина сопротивления сегодняшних кремниевых MOSFET в корпусе примерно такого же размера составляет 50 мОм.

Для еще более высоких напряжений IR продемонстрировала диоды на базе арсенида галлия, которые соперничают с карбид-кремниевыми диодами. Рисунок 9 показывает, что характеристики тока (I_{rr}) в режиме обратного восстановления для GaN и SiC диодов одинаковы и гораздо лучше, чем у кремниевых 600 В диодов с накоплением заряда. Небольшой ток в режиме восстановления обусловлен отсутствием неосновных носителей заряда. Результатом является быстрое и без помех переключение GaN диода, которое снижает необходимость в дополнительных схемах фильтрации. Стоимость диодов на базе GaN гораздо меньше, чем диодов на SiC благодаря оптимизации затрат на производство GaN-on-Si GaNrowIR платформы.

Закключение

Полевые GaN транзисторы, полученные на базе платформы GaNrowIR от International Rectifier, уже на данный момент значительно превосходят характеристики своих кремниевых аналогов, и виден огромный потенциал для их улучшения (подобный тому, какого ожидали от кремниевых MOSFET в 80е и 90е годы). Результатом явилось значительное уменьшение габаритов конечных изделий, увеличение КПД и рентабельности. Платформа GaNrowIR была разработана специально для запуска серийного производства приборов на арсениде галлия, которые превосходят существующие сегодня по показателям качества, надежности, КПД и другим. Были разработаны прототипы устройств на базе первых приборов на основе арсениде галлия и показаны их преимущества. Первым выпущенным на рынок устройством на базе GaN стал силовой модуль (IP2010 и IP2011) от IR, предназначенный для понижающих DC/DC-преобразователей. 

Получение технической информации,
заказ образцов, поставка –
e-mail: power.vesti@compel.ru